

운전분석기를 이용한 울진 1,2호기 완전급수상실사고 해석

TLOFW Analysis using Nuclear Plant Analyzer for UCN 1 & 2

배연경, 김한곤

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원 엔지니어링지원센터

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

본 논문은 MARS 코드 기반의 원전 운전분석기를 이용하여 울진 1,2호기의 완전급수상실사고 (Total Loss of Feed-Water, TLOFW)에 대한 대처능력을 평가한 것이다. 사고완화를 위한 운전원 조치는 울진 1,2호기 비상운전절차서를 준용하였다. 두 가지 운전형태에 대하여 평가를 수행하였다. 첫 번째는 운전원이 완전급수상실사고를 인지한 후 원자로 비상정지를 확인한 후 원자로냉각재 펌프를 정지시키고 노심출구온도가 330℃까지 상승하면 안전주입을 수동으로 개시하고 3대의 가압기 POSRV를 열어 압력을 방출시키는 안전주입 및 가압기 방출운전을 수행한다. 두 번째는 사고 인지후 증기발생기 광역수위가 -9.8m 이하로 내려가면 즉시 안전주입을 수동으로 작동하고 노심출구온도가 330℃에 도달하면 30분 후에 가압기 POSRV 3대를 수동으로 개방하는 안전주입 및 가압기 유출운전을 수행한다. 해석결과에 따르면 두 가지 운전 형태에 대해 가압기 POSRV를 열어 압력을 방출하는 동안 노심상부의 기포율이 40%까지 상승하나 이상수위는 노심상부 이상으로 유지되고, SI 작동과 Accumulator의 작동으로 수위가 회복되어 완전급수상실사고에 대해 충분한 여유도를 갖고 있는 것으로 평가되었다.

Abstract

Analysis of TLOFW(Total Loss of Feed-Water) has been performed using NPA based on MARS code for UCN 1,2. We assumed that the major operator actions are performed based on the Emergency Operating Guidelines of UCN 1,2. Two cases have evaluated.

When operator recognizes the event, he confirms reactor trip and stops RCP manually. First, When core outlet temperature reaches at 330℃, operator manually actuates HPSI and opens three PZR POSRVs. Second, When two SG wide range levels are below -9.8m, operator actuates HPSI and manually opens three PZR POSRVs at 30min after core outlet temperature reaches at 330℃. The former is feed and bleed operation, the latter is feed and overflow operation. According to the analysis results, two phase level is maintained over the active core top though the core void fraction is increased upto 40%. And Core is recovered with HPSI and Accumulator. The analysis results show that two cases have sufficient margin to prevent core uncover.

1. 서론

완전급수상실사고(TLOFW, Total Loss of FeedWater)는 주급수 상실 후 보조급수 공급이 실패하는 사고로 증기발생기를 통한 이차측 열제거 능력을 상실하면서 지속적인 붕괴열에 의해 가압되어 냉각재가 방출되면서 노심손상을 일으키는 설계기준초과사고이다.

Fromatome형인 울진 1,2호기는 WH형 원전이 갖고 있는 PORV나 KSNP가 갖고 있는 완전급수상실사고를 위한 안전감압계통을 갖고 있지 않다. 가압기 안전밸브와 PORV의 성격을 동시에 갖는 POSRV 밸브가 설치되어 있다. 이 밸브는 설정치에 의해서 작동하지만, PORV와 같이 운전원이 수동으로 압력을 제어할 수 있다. 두 가지 성격을 갖춘 대신 울진 1,2호기 POSRV의 총 압력방출량이 PSV와 PORV를 갖춘 고리 3,4호기에 비해 대략 PORV 용량만큼 적은 것을 알 수 있다. 완전급수상실사고와 같이 압력거동이 중요한 변수인 사고에 대해서는 밸브용량이 사고결과에 큰 영향을 미치게 된다.

완전급수상실사고는 사고의 가능성이 희박하기는 하지만 울진 1,2호기의 경우 가압기의 POSRV 용량이 다른 형태의 원전에 비해 적기 때문에 증기발생기 완전급수상실사고에 대한 대처능력을 평가해 보는 것이 중요하다. 울진 1,2호기 완전급수상실사고에 대한 비상운전절차서에는 두 종류의 운전형태가 기술되어 있다.

첫 번째는 완전급수상실사고를 운전원이 인지하면 보조급수계통 복구를 시도하며 원자로 비상정지를 확인한 후 원자로 냉각재 펌프를 정지시킨다. 복구시도가 실패하여 노심출구온도가 330℃에 도달하면 이때부터 안전주입을 수동으로 개시하고 동시에 3대의 가압기 POSRV를 열어서 압력을 방출시키는 안전주입 및 가압기 방출운전을 수행한다.

두 번째는 역시 보조급수계통 복구를 시도하는데 실패하여 증기발생기 광역수위가 -9.8m이하로 내려가는 경우 즉시 안전주입을 수동으로 작동시키고 노심출구온도가 330℃가 되면 30분후에 가압기 POSRV 3대를 수동으로 개방하는 안전주입 및 가압기 유출운전을 수행한다. 운전원이 원자로 비상정지 후 원자로냉각재 펌프를 정지시키는 것은 첫 번째와 동일하다.

본 논문에서는 울진 1,2호기의 운전분석기를 이용하여 비상운전절차에 따라서 운전원이 조치를 하였을 때 얼마만큼 노심 수위가 유지되는지를 평가하였다.

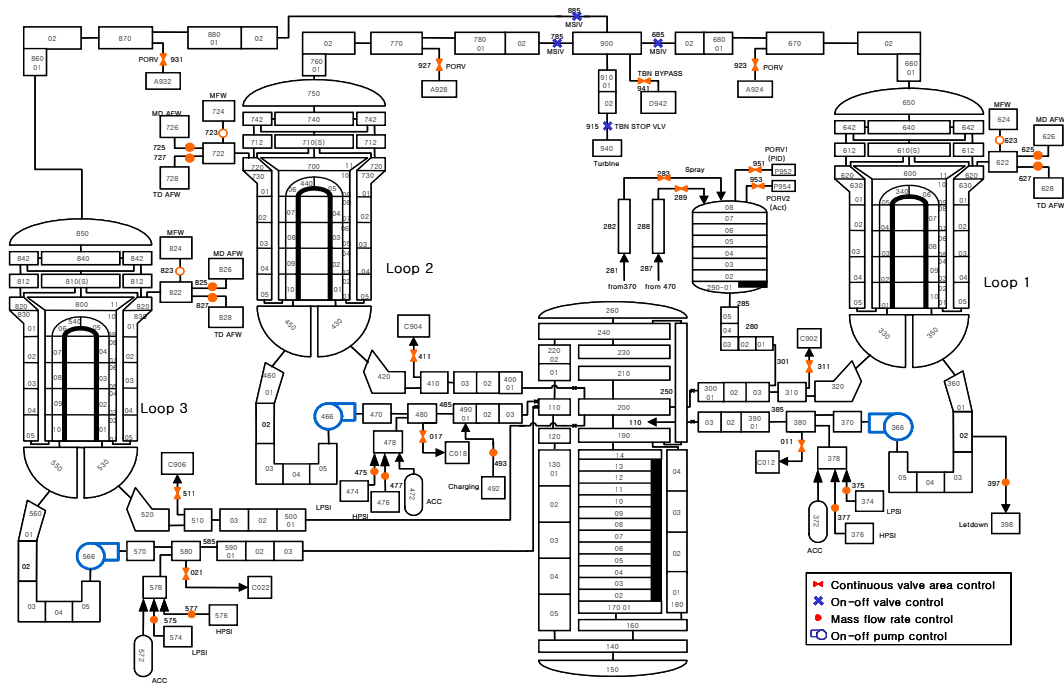
2. MARS 모델

울진 1,2호기 TLOFW 사고해석은 운전분석기의 MARS 모델을 이용해서 수행하였다[1]. 해석에 사용된 울진 1,2호기 MARS용 Noding Diagram은 [그림 1]과 같다. 원자로 계통의 최적 거동 분석을 위해 259개의 volume과 278개의 junction으로 구성하였다[2].

MARS 코드의 경우 노심의 수위를 알아볼 수 있는 지표인 mixture level 계산이 지원되지 않기 때문에 노심 상부의 노드에서 기포율을 계산하여 노심 수위의 여유도를 판단하였다.

TLOFW 해석을 수행하기 위해 다음 입력들이 조정되었다.

- 주급수 및 보조급수 기동정지
- 원자로 정지 후 10분후에 RCP 3대 정지
- 노심출구온도 330℃초과시 SI 수동개시 및 가압기 POSRV 3대 수동 개방
- TLOFW시 2대의 증기발생기 광역수위 -9.8m 이하 도달하면 60초 지연을 두고 SI 수동개시
- 노심출구온도 330℃초과시 30분 후에 가압기 POSRV 3대 수동개방



[그림 1] 울진 1,2호기 MARS Noding Diagram

3. 해석 주요가정 및 초기 조건

TLOFW 사고는 설계기준초과사고이기 때문에 보수적인 조건 및 입력을 요구하지 않으므로 발전소 초기 조건들은 100% 정격출력 운전 중의 nominal 조건을 사용했다[3].

사고 초기에 주급수펌프를 정지시키는 데 이때 펌프의 관성서행은 고려하지 않고 0초에서 급수유량이 상실되는 것으로 가정하였다. 또한 주급수펌프 정지와 동시에 보조급수 기동이 실패하는 것으로 가정하였다. 가압기 POSRV 면적은 설계 압력에서 포화증기 방출유량에 맞게 조절하였다. 가압기 POSRV는 각각의 설정치에 대해 압력이 6bar 이하가 되면 닫히게 된다. 원자로가 트립되고 나서 10분후에 운전원은 RCP 3대를 모두 정지시켰다. 이는 울진 1,2호기 증기발생기 완전급수상실(초과-2)에 대한 절차서에 따라 운전원이 조치할 수 있다는 가정에 따른 것이다. RCP가 정지되면 가압기 살수계통도 작동하지 않는다. SI는 노심출구온도가 330℃를 초과하거나 증기발생기 광역수위가 -9.8m이하로 내려가면 운전원이 계기판으로부터 인지한 후에 작동시키는 데 소요되는 시간을 고려하여 60초 후에 수동개방하며 동시에 POSRV 3대 역시 수동으로 개방한다. SI 펌프는 2대 모두 정상적으로 작동하는 것으로 가정하였다.

이 논문에서는 두 가지 Case에 대한 해석결과를 수록하였다. Case 1은 증기발생기 완전급수상실사고 절차서 중 안전주입 및 가압기 방출운전을 수행한 것이다. 사고발생 후 원자로와 터빈이 정지되고 10분후에 운전원이 RCP를 정지시킨다. 노심출구온도가 330℃까지 상승하면 수동으로 SI를 주입하고 가압기 POSRV 3대를 개방한다.

Case 2는 안전주입 및 가압기 유출 운전을 수행한 것이다. RCP 정지까지는 Case 1과 동일하고 2대의 증기발생기 광역수위가 -9.8m이하로 내려가면 수동으로 안전주입을 작동하고 노심출구온도가 330℃가 되면 30분후에 가압기 POSRV 3대를 개방한다.

코드를 이용한 정상상태 계산값과 울진 1,2호기 FSAR의 값을 [표 1]에 비교하였다[3]. 계산 결과

에 따르면 냉각재 온도와 냉각재 유량, 이차측 압력이 설계값과 약간의 차이를 나타내고 있으나, 허용 오차 범위 내에 있어 MARS 운전분석기에 의한 정상상태는 잘 모사되고 있는 것으로 판단된다.

4. 해석 결과

(1) Case 1 결과

완전급수상실사고가 발생하고 원자로 정지후 운전원이 10분 후에 RCP를 수동으로 정지시켰다. 증기발생기 완전급수상실사고 절차에 따라 노심출구온도가 330℃되면 SI를 수동으로 주입하고 가압기 POSRV 3대 모두 개방하는 것으로 하여 4000초까지 계산을 수행하였다.

초기 사고는 주급수펌프가 정지하면서 시작되고 보조급수 펌프는 작동하지 않는다. [표 2]에서 보듯이 주급수 펌프 정지후 31.1초에 증기발생기 저-저 수위 트립 신호에 의해 원자로가 트립되고 터빈이 정지한다. 원자로 트립 후 2초가 지나 제어봉이 삽입되기 시작한다. [그림 2]의 원자로 출력은 사고 초기에 원자로가 트립되면서 잔열 수준으로 감소하는 것을 볼 수 있다. [그림 3]의 가압기 압력은 원자로 트립 후 터빈정지에 따른 열제거율 감소로 일시적으로 증가하다가 정지후 압력까지 감소한다. 사고 후 1040초에서 증기발생기 재고량이 바닥나면 열제거율이 '0'이 되기 때문에 냉각재 온도상승에 의한 체적팽창으로 가압기 압력이 상승하게 되고 첫 번째 가압기 POSRV 설정치에서 열림과 닫힘을 반복하게 된다. [그림 6]의 노심출구온도가 330℃에 도달하게 되면 운전원은 SI를 수동으로 주입하고 가압기 POSRV 3대를 모두 개방한다. POSRV를 개방하자마자 압력은 46bar정도 내려가게 되고 지속적인 압력방출에 의해 40bar까지 줄어든다. [그림 7]의 가압기 POSRV 방출유량을 보면 개방시점에서 방출유량이 높게 나타나는데, 이는 POSRV 개방에 의한 순간적인 압력감소와 밸브 내외부의 압력차에 의한 비평형상태에 따른 것이다. 지속적인 방출에 의해 유량은 안정적이 되고 압력은 감소하게 된다.

사고초기에 급수유량이 모두 상실되었기 때문에 [그림 4]의 증기발생기 riser의 기포율을 보면 원자로 트립시 증기발생기 압력이 급격히 감소하여 기포율이 증가하다가 다시 감소하고 남아있던 물은 열제거에 사용되면서 1040초 정도에서 100% 증기화되어 증기발생기는 완전히 고갈된다.

[그림 8]의 안전주입유량은 노심출구온도가 330℃에 도달하면 60초 지연을 두고 주입되기 시작한다. POSRV를 동시에 열기 때문에 주입유량은 loop당 13kg/s로 주입된다. 이후 주입수량은 RCS 압력에 따라 변하는데 3000초까지 계속 증가하여 loop당 20kg/s정도로 주입된다. 가압기 POSRV의 지속적인 압력방출에 의해 RCS 압력이 accumulator 설정치까지 내려가면서 3000초에서 주입된다. RCS 압력이 회복되었다가 다시 내려가면서 3700초경에서 다시 accumulator가 작동한다([그림 9] 참조).

[그림 10]은 가압기 수위를 나타낸 것으로 1287초에서 가압기 고수위 트립신호가 발생하고 1613초에서 만수위를 나타내다가 1705초에서 POSRV를 개방하면서 수위가 내려가기 시작한다. [그림 5]의 냉각재 순환이 1800초경에서 정지하고 POSRV에 의한 압력감소로 노심상부에서 기포의 생성이 증가하고 이 기포가 원활히 제거되지 않기 때문에 원자로냉각재 계통내에 생성된 기포가 누적되고 이것이 체적팽창을 유발하여 2600초경에 다시 가압기 수위가 상승하게 된다.

[그림 11]과 [그림 12]는 노심의 기포율과 collapsed level을 나타낸 것으로 완전급수상실사고 후 POSRV가 수동 개방되는 시점까지 기포율 0과 노심 수위 7m는 그대로 유지되는 것을 볼 수 있다. POSRV로의 방출량이 커지면서 수위가 점차 감소하고 노심 상부는 비등하기 시작하여 노심 상부의 기포율은 40%정도로 증가하고 collapsed level은 6m까지 내려가나 SI가 주입되면서 수위는 점차 회복되어 4000초 정도면 거의 원래수위로 회복된다. [그림 12]의 collapsed level은 이상수위를 나타내는 것이 아니기 때문에 일반적인 완전급수상실사고에 대한 노심상부 2ft 여유도 여부를 확인할 수 없다. 통상적으로 이상수위는 해당 영역의 기포율이 70%인 지점으로 결정한다. [그림 11]에서 보듯이 노심 최상부인 Node 13번과 노심 상부영역인 Node 14번 모두 기포율이 40% 정도까지 증가했다가 다시 회복

되는 것을 알 수 있다. 이를 통해 충전과 방출 운전기간 중에도 노심의 이상수위는 노심 상부 이상에서 유지되고 있으며 SI와 Accumulator의 작동으로 인해 노심이 재충수되는 것을 알 수 있다.

[그림 13]은 냉각재 온도변화로 나타낸 것으로 자연순환이 유지되는 1800초까지는 고온관과 저온관 간의 일정한 온도차를 가지고 상승하는 경향을 보이다가, 운전원이 수동으로 POSRV를 개방한 이후에는 자연순환의 상실과 상대적으로 차가운 안전주입수의 주입으로 인해 저온관 온도가 급격히 감소하며, 고온관 온도는 냉각재가 노심을 거쳐 나오기 때문에 상대적으로 천천히 감소하는 경향을 보인다. 2600초에서 고온관 유량이 재형성되고 안전주입수에 의해 감소하던 온도가 급격히 상승하게 된다. 노심-고온관-가압기-POSRV를 통해 증기가 방출되면서 다시 냉각재의 온도는 내려간다.

결론적으로 사고발생 후 비상운전절차에 따라 증기발생기 고갈 후 노심출구온도가 330℃에 도달해서 충전 및 방출 운전을 개시하면 울진 1,2호기는 완전급수상실사고에 대해 노심 상부이상으로 충분한 여유도를 갖는 것으로 나타났다.

(2) Case 2 결과

Case 2의 경우는 안전주입 및 가압기 유출운전을 수행하였다. 2대의 증기발생기 광역수위가 -9.8m 이하로 내려가면 SI를 수동으로 주입하고 노심온도가 330℃에 도달하면 30분 후에 POSRV를 3대 수동으로 개방하였다.

[표 3]은 Case 2에 대한 사고 진행순서를 나타낸 것이다. 2대의 증기발생기 수위가 9.8m이하가 되는 189.6초에서 60초 후인 249.7초에서 SI를 주입하였다. Case 1과 같이 원자로 정지후 10분 후에 RCP를 정지시켰다. 초기에 주입된 SI에 의해 증기발생기는 1665초에서 고갈되었다. 노심출구온도가 330℃에 도달된 후 30분 후에 가압기 POSRV 3대를 개방하였다. 6053초에서 가압기는 저-저 수위 신호를 발생하고 6911초에서 accumulator로부터 물이 들어간다.

[그림 14]는 원자로 출력을 나타낸다. 주급수 정지후 증기발생기 저-저 수위 신호에 의해 33초에 제어봉이 삽입되기 시작하여 출력은 이후 잔열 수준이 유지된다. [그림 15]의 가압기 압력을 보면 사고 후 가압기 POSRV를 열기전까지는 계속적으로 POSRV 1번의 설정치인 166bar에서 열림과 닫힘을 반복하면서 3대의 POSRV를 개방하면 압력은 30bar까지 급속히 내려간다.

[그림 16]의 증기발생기 riser의 기포율을 나타낸 것으로 수위거동은 Case 1과 비슷하지만, 증기발생기 광역수위가 9.8m이하가 될 때 HPSI가 주입되기 때문에 증기발생기 고갈시간은 Case 1에 비해 약 10분 정도 길어진다. [그림 17]은 가압기 POSRV의 방출유량을 나타낸 것으로 사고 초기에는 증기만 방출되다가 500초부터 가압기 수위가 상승하면서 증기와 물이 동시에 방출되어 방출량이 증가한다. 가압기가 만수위가 되는 1000초에서 5758초까지 물이 방출되므로 질량이 더 많아지는 것을 알 수 있다. 이는 설정치가 낮은 POSRV 1번만이 열림과 닫힘을 반복하면서 방출하는 것이고 5758초에서 3대의 POSRV가 열리게 되면 방출유량은 급격히 감소하게 된다.

[그림 20]의 가압기 수위는 230초부터 주입되는 안전주입수량에 의해 계속 상승하여 900초 정도되면 만수위에 이르게 된다. 5758초에서 POSRV에 의한 방출로 수위는 감소하게 되나 노심 비등에 의해 기포가 RCS내에 쌓이게 되면서 수위가 약간 상승하게 된다.

[그림 22]는 노심 출구온도로 Case 1에 비해 사고 초기부터 안전주입수가 주입되기 때문에 330℃에 도달하는 시간이 2300초정도 지연된다. 330℃이후 POSRV 개방에 의해 온도가 감소하는 것을 볼 수 있다. [그림 24]의 고온관 유량 거동에서 보듯이 5800초 전후로 loop seal이 clearing 되는 현상이 나타난다. 이때 압력강화로 인해 더 많은 양의 안전주입수가 들어가게 되고 유량이 재형성되면서 냉각재의 온도가 급격히 상승하였다가 감소하는 것을 볼 수 있다. [그림 21]의 노심기포율은 가압기 POSRV를 모두 개방하기 전까지는 '0'으로 물로 가득차 있다가 개방되면서 압력이 낮아지므로 비등하

기 시작하여 40%까지 상승한다. 이는 이상수위의 기포율인 70%에 비해 훨씬 낮은 값이므로 노심의 이상 수위는 노심상부 이상의 여유도를 갖는 것으로 판단된다.

5. 결론

운전분석기의 MARS 모듈을 이용하여 울진 1,2호기 완전급수상실사고시 대처능력을 평가하였다. 울진 1,2호기 완전급수상실사고에 대한 비상운전절차서(초과-2)를 이용하여 다음과 같은 두 가지 Case에 대해 사고해석을 수행하였다.

- Case 1은 주급수가 상실되고 보조급수가 기동되지 않는 상황에서 원자로와 터빈이 트립되면 10분후에 운전원이 RCP 3대를 정지시키고 노심출구온도가 330℃에 도달하면 수동으로 안전주입을 작동시키고 3대의 가압기 POSRV를 수동으로 개방하여 안전주입 및 가압기 방출운전을 수행한다.

- Case 2는 RCP 정지까지 Case 1과 동일하며 2대이상의 증기발생기 수위가 -9.8m이하로 떨어지면 수동으로 안전주입을 작동시키고 30분 후에 가압기 POSRV 3대를 모두 열어 안전주입 및 가압기 유출운전을 수행한다.

사고해석 결과 두 가지 경우에 대해 모두 가압기 POSRV를 수동으로 개방하여 압력을 방출시키면 약 1000초간은 노심이 비등하여 노심 상부의 기포율이 40%정도까지 올라가지만 노심의 이상수위는 노심 상부이상의 여유도를 유지하는 것으로 나타났다.

최적해석결과를 고려해 볼 때 울진 1,2호기는 완전급수상실사고 측면에서 충분한 여유도를 갖고 있다고 판단된다.

참고문헌

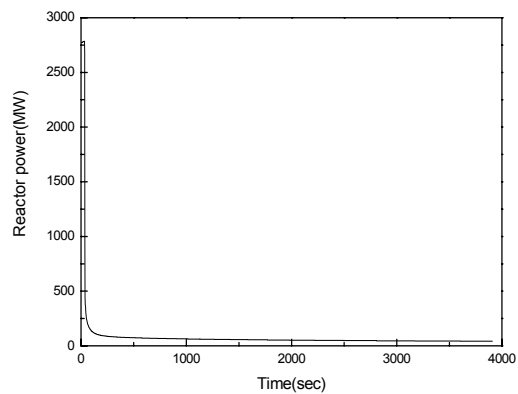
- [1] 원자로 과도분석 시스템 (VISA Ver. 1.0, KAERI, December 2003)
- [2] 김한곤 외, “경수로원전 운전분석기용 울진 1,2호기 제어 및 보호계통 입력 기술 배경서”, TMA02NS03.M2003.EN10, KHNP, October 2003
- [3] 울진 1,2호기 최종안전성분석보고서, 한수원(주)
- [4] 울진 1,2호기 증기발생기 전체급수상실 비상운전절차서(Rev. 4), 한수원(주)

[표 1] 울진 1,2호기 FSAR값과 계산값 비교

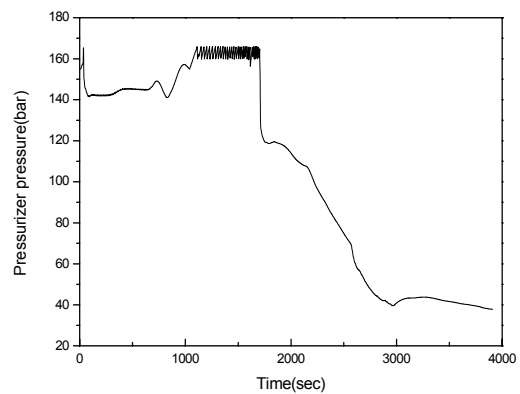
변 수	FSAR	계산값
노심 출력, 100%(MWt)	2775.0	2775.0
가압기 압력(bar)	155.1	155.1
일차 계통 온도		
$T_{avg}(^{\circ}\text{C})$	304.6	304.85
$T_{hot}(^{\circ}\text{C})$	321.9	322.15
$T_{cold}(^{\circ}\text{C})$	287.3	287.6
펌프당 냉각재 유량 (kg/sec)	4746.5	4750.2
이차측 압력(bar)	58.0	57.7
증기유량 (kg/sec)	504.3	503.3
급수 온도(℃)	219.5	219.5

[표 2] 울진1,2호기 완전급수상실(TLOFW) 사고 진행순서-Case 1

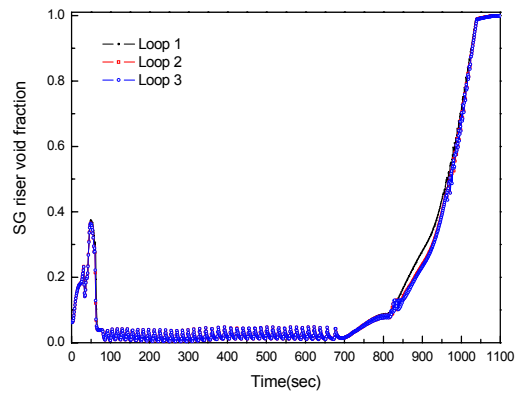
Events	Time(sec)
Main feedwater pump trip, auxiliary feedwater pump actuation fail	0.0
SG low-low level trip, Rx trip, TBN trip	31.1
Rod drop with 2s delay	33.0
PZR hi pres trip	35.0
PZR POSRV1 open	35.6
PZR POSRV1 shut	37.4
SG ARV open	39.1
Below -9.8m of SG wide range level	189.6
RCP 1/2/3 manual trip at 600s after Rx trip	631.1
SL lo pres trip	1011.0
SG inventory dryout	1040.0
PZR hi level trip	1287.0
Core outlet temp. reach at 330℃	1645.0
HPSI injection, PZR POSRV1/2/3 manual open	1705.0
PZR lo-lo pres trip	1785.0



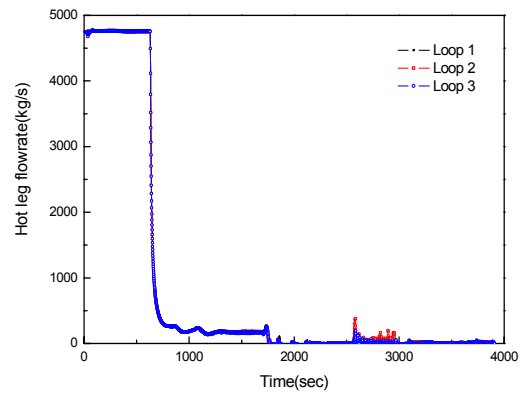
[그림 2] Case 1-원자로 출력



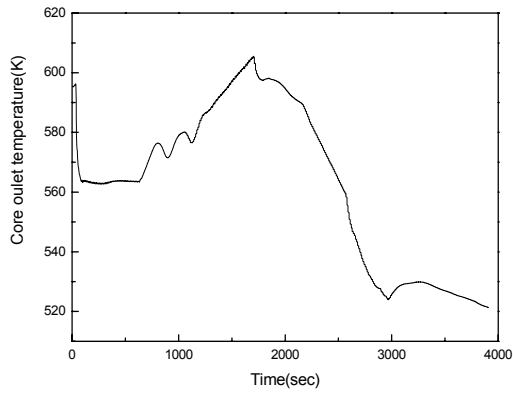
[그림 3] Case 1-가압기 압력



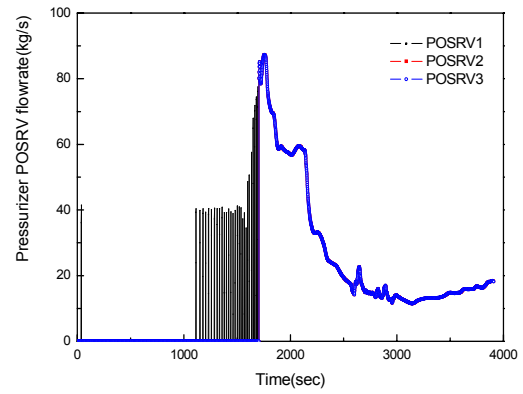
[그림 4] Case 1-증기발생기 riser 기포율



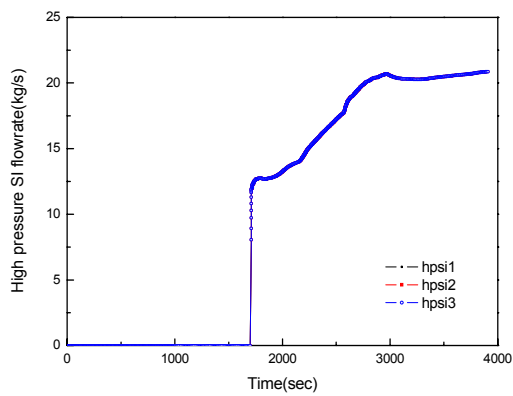
[그림 5] Case 1-고온관 유량을



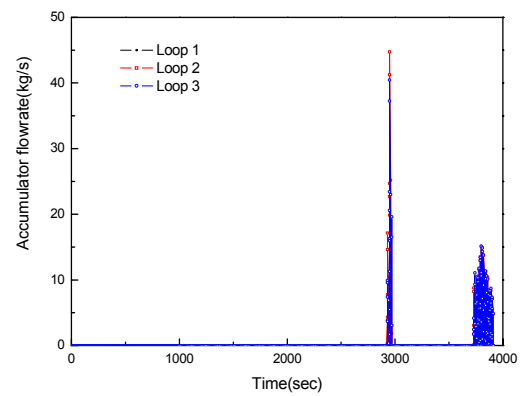
[그림 6] Case 1-노심출구온도



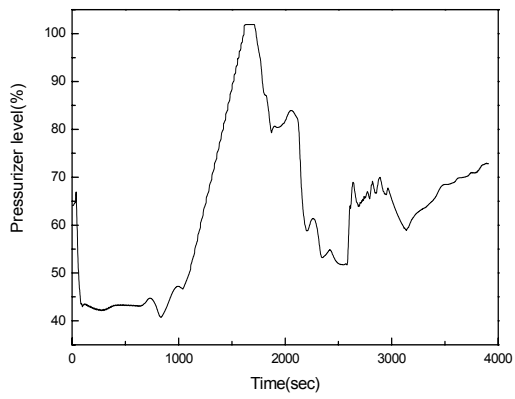
[그림 7] Case 1-가압기 POSRV 방출유량



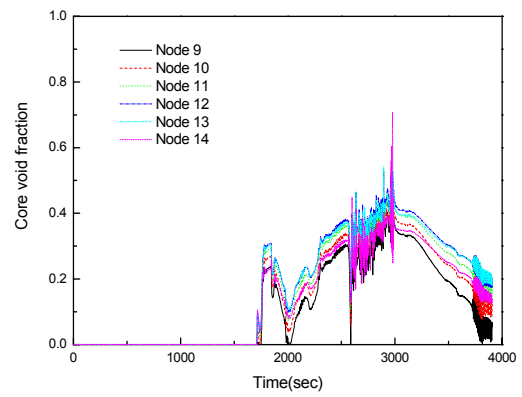
[그림 8] Case 1-SI 주입유량



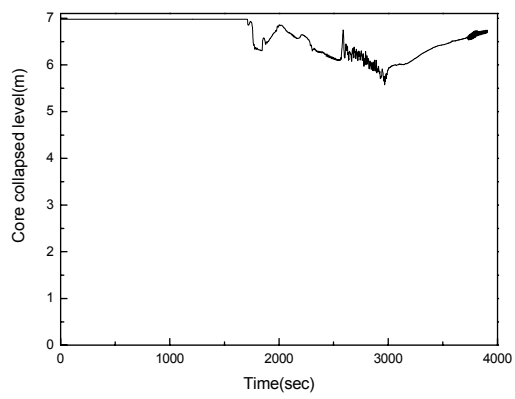
[그림 9] Case 1-Accumulator 주입유량



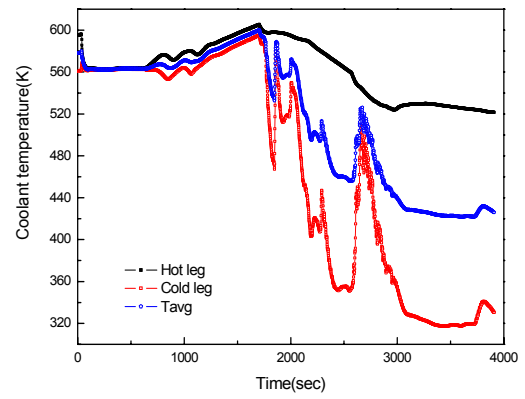
[그림 10] Case 1-가압기 수위



[그림 11] Case 1-노심기포율



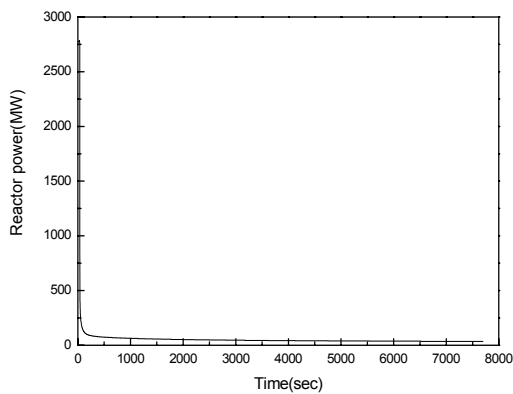
[그림 12] Case 1-Core collapsed level



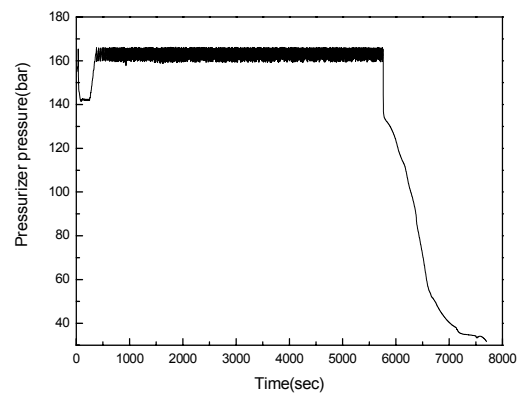
[그림 13] Case 1-냉각재 온도

[표 3] 울진1,2호기 완전급수상실(TLOFW) 사고 진행순서-Case 2

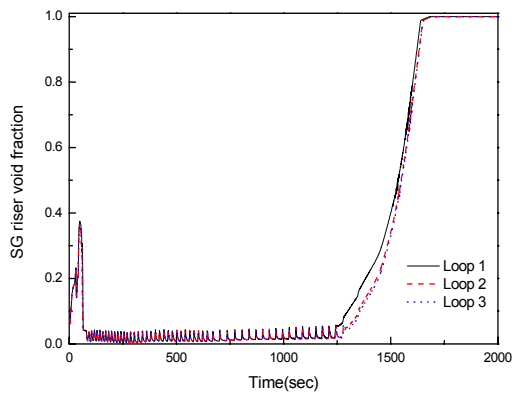
Events	Time(sec)
Main feedwater pump trip, auxiliary feedwater pump actuation fail	0.0
SG low-low level trip, Rx trip, TBN trip	31.1
Rod drop with 2s delay	33.0
PZR hi pres trip	35.0
PZR POSRV1 open	35.6
PZR POSRV1 shut	37.4
SG ARV open	39.1
Below -9.8m of SG wide range level	189.6
HPSI manual injection	249.7
RCP 1/2/3 manual trip at 600s after Rx trip	631.0
SG inventory dryout	1650.0
SL lo pres trip	1837.0
Core outlet temp. reach at 330℃	3958.0
PZR POSRV1/2/3 manual open	5758.0
PZR lo-lo pres trip	6053.0
Accumulator on	6911.0



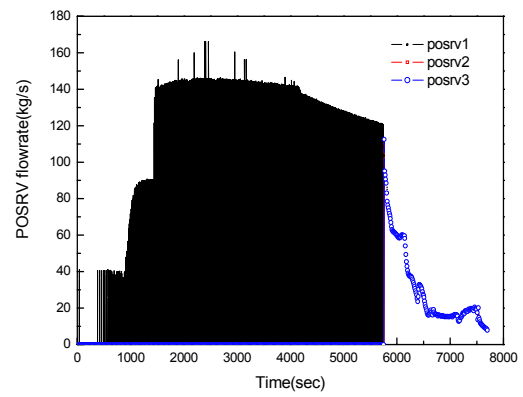
[그림 14] Case 2-원자로 출력



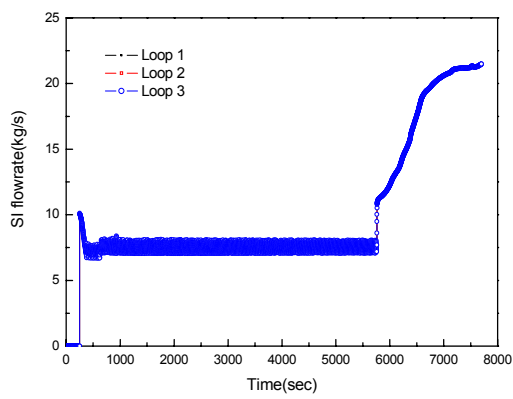
[그림 15] Case 2-가압기 압력



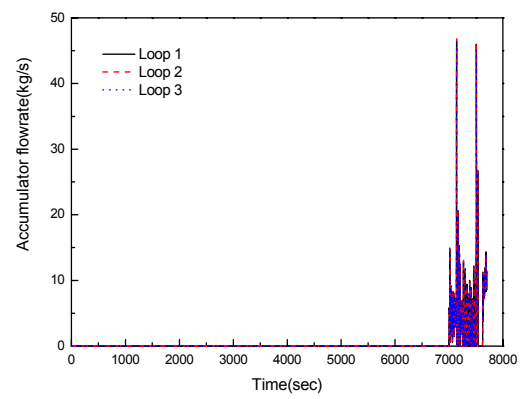
[그림 16] Case 2-증기발생기 riser 기포율



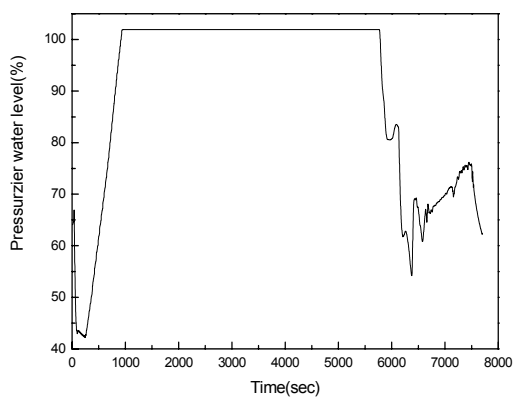
[그림 17] Case 2-가압기 POSRV 방출량



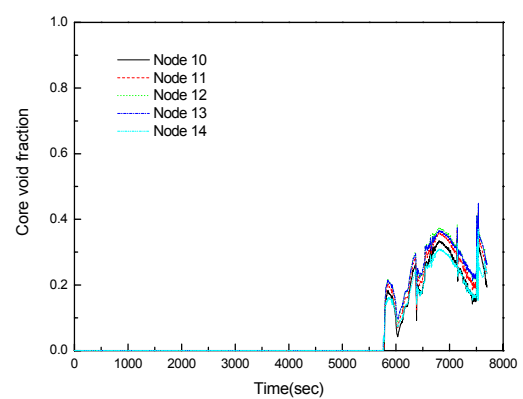
[그림 18] Case 2-SI 주입유량



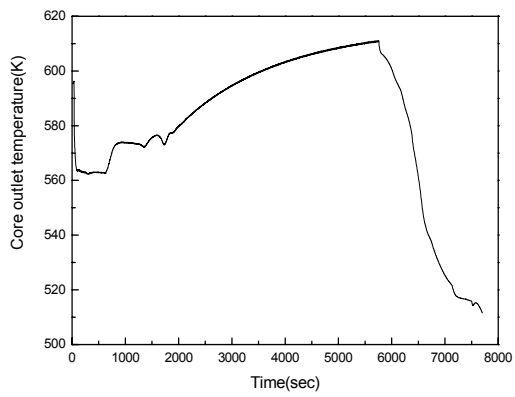
[그림 19] Case 2-Accumulator 주입유량



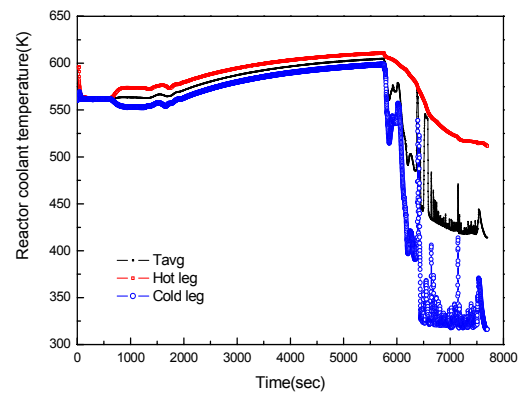
[그림 20] Case 2-가압기 수위



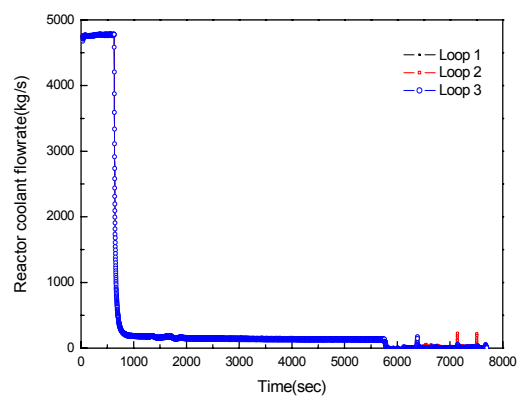
[그림 21] Case 2-노심기포율



[그림 22] Case 2-노심출구온도



[그림 23] Case 2-냉각재온도



[그림 24] Case 2-고온관 유량율